



SAVONIA

Laadunvarmistus lämpökamerakuvaus- silla ja ilmatiiveysmittauksilla

Opinnäytetyö

Panu Tuunainen

31.05.2013

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Panu Tuunainen			
Työn nimi Laadunvarmistus lämpökamerakuvauksilla ja ilmatiiveysmittauksilla			
Päiväys	31.5.2013	Sivumäärä/Liitteet	32/3
Ohjaaja(t) Pasi Haataja, lehtori ja Martti Niskanen, testausinsinööri			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Skanska Talonrakennus Oy			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aiheena oli laadunvarmistus lämpökamerakuvauksilla ja ilmatiiveysmittauksilla. Työ tehtiin Skanska Talonrakennus Oy:n työmaalle Kuopion Saaristokaupungissa. Kohteena oli 60-paikkainen hoivakoti. Työn tavoitteena oli varmistaa rakennuksen laatu lämpökamerakuvilla sekä tiiveysmittauksilla.</p> <p>Työn aikana tehtiin kohteeseen kaksi lämpökamerakuvausta, joista työmaa sai lyhyen raportin. Rakennusta kuvattiin useaan otteeseen, jotta saatiin riittävästi lämpökuvia. Ilmatiiveysmittaus tehtiin vasta, kun rakennus oli loppuvaiheessa ja tiiveysmittauksen teki Savonia-ammattikorkeakoulun testausinsinööri. Työn tekemiseen kuului teorian opiskelu, lämpökameran käytön opettelu, sekä perehtyminen ilmatiiveysmittaukseen.</p> <p>Työn tuloksena opittiin käyttämään lämpökameraa ja tekemään kuvausraportteja ja myös lämpökuvauksen teoria tuli tutuksi. Ilmatiiveysmittauksen teoria oli uutta, mutta työn aikana aihe tuli tutuksi. Mittauksen- ja lämpökamerakuvauksien tulosten perusteella voitiin rakennus todeta tiiviiksi ja hyvin rakennetuksi. Lopputuloksena saatiin työmaalle virallinen tiiveysraportti.</p>			
Avainsanat			
Laadunvarmistus, lämpökamera, ilmatiiveys			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Management			
Author(s) Panu Tuunainen			
Title of Thesis Quality assessment with thermal imaging and by measuring airtightness			
Date	31 May 2013	Pages/Appendices	32/3
Supervisor(s) Mr Pasi Haataja, Lecturer and Mr Martti Niskanen, Testing Engineer			
Client Organisation/Partners Skanska Talonrakennus Oy			
<p>The purpose of the thesis was to make a quality assessment with thermal imaging and by measuring airtightness. This work was commissioned by Skanska Talonrakennus Oy and the construction site of a nursing home for elderly people was located in Kuopio Saaristokaupunki. The purpose was to ensure the quality of the building with thermal imaging and by measuring airtightness.</p> <p>The thermal imaging tests were made two times during the project. After the tests a short report of thermal imaging was written for the construction site. The building was photographed several times by a thermal imaging camera to get enough pictures. Airtightness was measured when the building was almost finished and the measurement tests was made by the testing engineer of Savonia University of Applied Sciences.</p> <p>As a result, knowledge of using a thermal imaging camera and making imaging reports was gained. The results of the measurement and thermal imaging tests were good and building seemed to be tight and well constructed. As a result an official tightness report was produced for the construction site.</p>			
Keywords Quality assessment, thermal camera, airtightness			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Tausta ja tavoitteet.....	7
1.2	Yritys ja toiminta	7
2	OPINNÄYTETYÖN KOHDE	8
3	LÄMPÖKAMERAKUVAUS.....	9
3.1	Lämpökameran käyttö ja toiminta	9
3.2	Kuvausolosuhteet	11
3.3	Lämpötilaindeksi.....	12
3.4	Lämpökuvaajan pätevyudet	13
3.5	Kuvaaminen	13
3.6	Tulosten tulkinta ja raportointi	15
3.7	Lämpökuvauksen tulokset	18
4	ILMATIIVEYSMITTAUS	21
4.1	Miksi rakennus tulee olla ilmatiivis?	21
4.2	Mitä ilmatiiveys tarkoittaa?	21
4.3	Paine-ero	22
4.3.1	Savupiippuvaikutus.....	22
4.3.2	Tuulen vaikutus	23
4.3.3	Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus	23
4.4	Rakennuksen ilmatiiveysmittaus.....	24
4.5	Tiiveysmittauksen tärkeys.....	25
4.6	Mittauksen suorittaminen	26
4.7	Tiiveysmittauksen tulokset.....	29
5	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	30
5.1	Työssä käytetyt menetelmät.....	30
5.1.1	Lämpökuvaus	30
5.1.2	Tiiveysmittaus.....	30
5.2	Menetelmien toimivuus ja kehitysideat	31
5.3	Tavoitteiden toteutuminen.....	31
	LÄHTEET	33

LIITTEET

Liite 1 Kenttätöölomake

Liite 2 Lämpökuvausraportti

Liite 3 Tutkimusselostus

- Emissiivisyys
On pinnan kyky lähettää lämpösäteilyä. Kaikilla materiaaleilla on oma emissiivisyysluku. Luku kertoo kuinka suuri osa kuvattavan materiaalin lähettämästä energiasta on pinnasta lähtevää omaa energiaa.
- Huoneilman lämpötila
Ilman lämpötila 1,1 metrin korkeudelta oleskeluvyöhykkeellä.
- Lämpökamera
Lämpösäteilyn vastaanotin, joka mittaa kuvattavasta kohteesta lähtevän lämpösäteilyn voimakkuutta. Kamera muuttaa lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta digitaalinen kuva muodostuu.
- Lämpökuvaus
Tarkoittaa kuvattavan pinnan lämpötilajakauman määrittämistä.
- Lämpötilaindeksi
Rakennuksen lämpötekniistä toimivuutta voidaan arvioida lämpötilaindeksiä apuna käyttäen. Kun kuvauksia ei voida tehdä vakio-olosuhteissa, indeksin avulla voidaan arvioida vaipan pintalämpötiloja.
- Normaali käyttötilanne
Tarkoitetaan olosuhteita, joissa kuvattava tila tavallisesti sitä käytettäessä on.
- Oleskeluvyöhyke
Tila, jonka yläpinta rajoittuu 1,8 metrin korkeuteen lattiasta, alapinta rajoittuu lattiaan. Sivupinnat ovat 0,6 metrin päässä seinistä.
- Vakio-olosuhde
Ulkolämpötila on $-5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ja sisälämpötila $+20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

(RT 14-10850 Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus 2005, 2.)

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Rakennusaikainen laadunvarmistus on oiva keino välttää rakentamisessa syntyviä virheitä. Hyvä apuväline virheiden paikantamiseen on lämpökamera, jolla voidaan havaita virheitä, jotka eivät näy välttämättä päälle päin. Lämpökameralla voidaan etsiä virheitä rakennusaikana, jolloin ne on vielä helppo korjata

Suoritan opinnäytetyöni Skanska Talonrakennus Oy:lle, jonka työmaalla toimin edellisenä kesänä työnjohtoharjoittelijana. Työmaa on 60-paikkainen hoivakoti Kuopion Saaristokaupungissa. Työni tavoitteena on luoda rakentamisvaiheen laadunvarmistusta työmaalle, mikä on nykypäivänä vielä vähäistä. Laadunvarmistuskeinoina käytetään lämpökamerakuvauksia sekä tiiveysmittauksia ennen kohteen luovutusta. Lopputuloksena saadaan tiiveysmittausraportti sekä paljon lämpökuvia laadun varmistukseksi.

1.2 Yritys ja toiminta

Työni kohteena on Skanska Talonrakennus Oy:n työmaa. Skanska on yksi maailman vanhimmista ja menestyneimmistä rakennusyhtiöistä. Se perustettiin vuonna 1887 Etelä-Ruotsissa. Suomeen Skanska perusti ensimmäisen haarakonttorinsa jo vuonna 1917. Nykyinen Suomen ja Viron toiminnoista vastaava yhtiö Skanska Oy perustettiin vuonna 1994. (Skanska Oy 2013.)

Skanskan toiminta Suomessa kattaa rakentamispalvelut, asuntojen ja toimitilojen projektikehityksen sekä elinkaarihankkeet. Skanska Oy on osa Skanska-konsernia ja sen alaisuudessa ovat rakentamispalvelut Suomessa ja Virossa. Talonrakentamisesta ja talotekniikkapalveluista vastaa Suomessa Skanska Talonrakennus Oy, maa- ja ympäristörakentamisesta huolehtivat Skanska Infra Oy ja Skanska Asfaltti Oy. Virossa näistä toiminnoista vastaa Skanska EMV AS. Skanskan Suomen ja Viron liiketoimintojen yhteenlaskettu liikevaihto vuonna 2011 oli noin 1 miljardi euroa ja henkilöstöä oli noin 3 360. Suomessa heistä työskentelee noin 3050. Skanska Oy:n toimitusjohtajana toimii nykyisin Kenneth Nilsson. (Skanska Oy 2013.)

2 OPINNÄYTETYÖN KOHDE

Työni kohde oli Hoivakoti Aurinkopuisto (kuva 1), joka sijaitsee Kuopion Saaristokaupungissa. Kyseessä on 60-paikkainen hoivakoti, jossa on 60 kappaletta noin 24 m² asuinhuonetta. Kohteessa on asuinhuoneiden lisäksi yhteisiä tiloja ja väestönsuoja, joiden ilmanvaihdon hoitaa yksi iso ilmanvaihtokone, jolle on tehty oma tila talon katolle. Kokonaistilavuus kohteessa on 12 400 m³ ja ilmatilavuus noin 10 000 m³.

Kohteen runko on betonielementtirunko. Ala-, ylä- ja välipohjat ovat ontelolaattarakenteisia, joista alapohja on tuuletettu. Katto on tyyliltään pulpettikatto. Ulkoseinän rakenne on sisäpinnasta ulkopintaan lueteltuna: maali ja tasoitus, betonielementti 150 mm, kivivilla 175 mm, tuulensuojavilla 50 mm, ilmarako 40 mm ja muurattu, poltettu tiili 130 mm.



Kuva 1 Hoivakoti Aurinkopuisto. Kuva Panu Tuunainen

3 LÄMPÖKAMERAKUVAUS

3.1 Lämpökameran käyttö ja toiminta

Lämpökuvat toimivat hyvänä apuvälineenä rakennusten vikojen paikantamisessa. Sillä voidaan löytää ongelmakohtia rikkomatta rakenteita. Lämpökameralla voidaan havaita lämpövuotoja, ilmavuotoja, eristevikoja sekä mahdollisia kosteusvaurioita. Kosteusvaurioita on haastavaa havaita pelkällä lämpökameralla, siksi yleensä kosteusvaurioiden varmistamiseksi vaaditaan varmistavia testejä jollain muulla menetelmällä. Näiden lisäksi voidaan myös tutkia LVIS-laitteiden toimintaa ja ulkovaipan lämpötekniistä kuntoa.

Lämpökameran toiminta perustuu pintalämpötilojen mittaukseen. Kamera vastaanottaa mitattavan kohteen pintalämpötiloja. Kuvattavan kohteen pinta lähettää lämpösäteilyä, jota lämpökamera mittaa. Ensimmäiset lämpökamerat tulivat markkinoille 1950-luvulla. Silloin kameroissa oli skanneritekniikka, jossa ilmaisin piti jäähdyttää nestemäisellä typellä. Kyseinen tekniikka oli käytössä 1990-luvun puoliväliin, jonka jälkeen tuli käyttöön uusi matriisi-ilmaisin. Matriisi-ilmaisimia on jäähdytettyjä ja jäähdyttämättömiä. Jäähdytettyjen kameroiden jäähdytys toteutetaan nykyisin heliumkiertopumpulla. Nykyisissä lämpökameroissa on kymmeniä tuhansia infrapunalämpömittareita, jotka lähettävät ja vastaanottavat tietoa kuvattavasta kohteesta. Esimerkiksi tässä opinnäytetyössä tutkitun kohteen kuvauksessa käytetty kamera oli Flir E50bx (kuva 2), jossa on 43 000 pikseliä ja jäähdyttämätön ilmaisin. (Paloniitty & Kauppinen 2006, 16 ; Infradex Oy.)



Kuva 2 Lämpökamera. Kuva Panu Tuunainen

Nykyisin lämpökamerat alkavat olla jo yleisiä apuvälineitä rakennustöissä, tästä johtuen markkinoille on tullut paljon eri vaihtoehtoja kameran valitsemiseen. Rakennusten lämpökuvauksessa käytettävällä lämpökameralla on vaatimuksena, että se on mittaava, tasapainotettu sekä kuvantava. Mittaava tarkoittaa, että kameralla on pysyttävä mittaamaan suoraan pintalämpötiloja ilman, että kameran rungon lämpötilavaihtelut vaikuttavat mittaustulokseen. Kuvantava tarkoittaa, että kamera muodostaa lämpökuvan, joka esittää kohteen pintalämpötilajakauman. Vaikka käytettävä kamera täyttääkin yllämainitut vaatimukset, on otettava huomioon varsinkin sisältä ulkoilmaan siirryttäessä, että kameran on annettava tasapainottua 15 - 30 minuuttia. Jos kameralla kuvataan välittömästi ulkoilmassa, voivat mittausrvirheet olla useita asteita. Lämpökamerassa on oltava myös tallennusmahdollisuus raportointia ja tulosten analysointia varten. Jos kamerassa ei ole kyseistä ominaisuutta, sitä voi käyttää vain työnaikaiseen laadunvarmistukseen. (Paloniitty & Kauppinen 2006, 19.)

Kun kamera mittaa kuvattavan kohteen pintalämpötilaa, materiaalit heijastavat eri tavalla. Tätä varten on olemassa emissiokertoimet. Emissiokerroin, toisin sanoen emissiivisyys, kertoo kuinka suuri osa kappaleen lähettämästä energiasta on pinnasta lähtevää omaa energiaa. Emissiokerroin on 0-1 ja se ilmoitetaan desimaalilukuna. Esimerkiksi betonin emissiivisyys on 0,95 ja alumiinin taas 0,04. Emissiivisyyteen vaikuttavat säteilyn aallonpituus, kuvattavan kohteen pintalämpötila, materiaali ja kuvauskulma. (Paloniitty & Kauppinen 2006, 9, 17.)

3.2 Kuvausolosuhteet

Kun aletaan lämpökuvata valmista rakennusta, on otettava huomioon vallitsevat olosuhteet 12 tunnin ajalta ennen kuvausta. Ulkolämpötila ei saa poiketa enempää kuin ± 10 °C. Lämpötilaero ulkovaipan yli ei saa alittaa lukuarvoa $3/U$, U -arvo tarkoittaa teoreettista lämmönläpäisykerrointa $W/(m^2 \cdot K)$. Sisä- ja ulkolämpötilaero ei saa kuitenkaan olla alle 15 °C. Jos kuvaus suoritetaan keväällä, jolloin rakennus on alttiina auringonpaisteelle, on se otettava huomioon rakenteita kuvattaessa ja se on merkittävä lopulliseen raporttiin. Mikäli rakennus on tuulisella alueella, tuulen nopeus ja suunta on merkittävä raporttiin. Vakio-olosuhteista puhutaan, kun lämpötilat kuvattaessa ovat: ulkolämpötila -5 °C - ± 1 °C ja sisälämpötila $+20$ °C - ± 2 °C. Kun kuvaus on aloitettu, sisälämpötila ei saa kuvauksen aikana poiketa enempää kuin ± 2 °C ja ulkolämpötila ± 5 °C. Kuvattavassa rakennuksessa tulisi olla lievä alipaine ulkoilmaan verrattuna kuvauksen aikana, mutta alipaine ei saa olla kuitenkaan yli 15 Pa. Jos rakennuksessa on painovoimainen ilmanvaihto, katonrajaa kuvattaessa ja varsinkin tuloksia käsiteltäessä, on otettava huomioon lievä ylipaine ulkoilmaan nähden. Työvaiheessa oleva rakennus voidaan lämpökuvata laadunvarmistuksen kannalta, mutta silloin mittausolosuhteille ei anneta mitään vaatimuksia, koska varsinkin sisäolosuhteet vaihtelevat paljon. Kun kuvataan rakennusta olosuhteissa, jotka eivät täytä vakio-olosuhteita, voidaan vaipan pintalämpötiloja verrata toisiinsa lämpötilaindeksiä apuna käyttäen. (RT 14-10850 Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus 2005, 3.)

Rakennusvaiheessa olevan työmaan kuvausolosuhteet ovat yleensä epästabiilit eikä olosuhteita saada välttämättä pysymään 12 tuntia oikeanlaisena, joten tämä on otettava huomioon tulkittaessa kuvia. Varsinkin sisäilman lämpötila voi vaihdella paljonkin eikä kuvattavia kohteita pystytä välttämättä pitämään 12 tuntia ennen kuvausta kuvauskelpoisena. Esimerkiksi rakennuksen ulkonurkkaa sisäpuolelta kuvattaessa seinän vieressä ei saisi olla mitään tavaraa, joten tämä on hankala toteuttaa, sillä yleensä rakennustyömaalla on paljon tavaraa eikä koko rakennusta voida tyhjentää. Tämän takia kuvauksia on tehtävä useampi, jos halutaan kuvata koko rakennus. Olosuhteiden takia kuvasin itse viikonloppuna, jolloin työmaalla ei ollut ylimääräisiä työmiehiä ja sain kuvausolosuhteet pysymään lähes samanlaisena 12 tuntia. Vääränlaiset kuvausolosuhteet näkyvät yleensä kuvaustuloksissa virheellisinä pintalämpötiloina. Jos rakenteissa on vielä kosteutta jonkin työvaiheen jäljiltä, tämä näkyy kylmänä sinisenä kohtana kuvassa.

Kuvia tulkittaessa kuvaajan on pystyttävä huomioimaan ja miettimään mistä vika johtuu, koska vika ei aina ole kylmyys. Lämpötilojen ja tavaroiden aiheuttamien ongelmien lisäksi on huomioitava paine-erot rakennuksessa, jossa ei vielä ole ilmastointikone toiminnassa. Kyseinen rakennus oli kaksikerroksinen, jolloin alakerrassa vaikutti lievä alipaine, mutta yläkerrassa paine muuttuu jo ylipaineiseksi savupiippuvaikutuksen vuoksi. Tämä on myös huomioitava kuvattaessa rakenteita. Vikojen paikantaminen on huomattavasti vaikeampaa ylipaineisessa rakennuksessa, sillä ilmavuodot eivät välttämättä erotu ylipaineen vuoksi.

3.3 Lämpötilaindeksi

Lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen lämpötekniistä toimivuutta, jos kuvaus olosuhteet eivät ole vakiot. Lämpötilaindeksin kaava on seuraavanlainen: $TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100[\%]$. Jossa TI = lämpötilaindeksi(%), T_{sp} = sisäpinnan lämpötila(°C), T_i = sisäilman lämpötila(°C) ja T_o = ulkoilman lämpötila(°C). Esimerkiksi mitattaessa kohteen seinän sisäpinnan lämpötilaksi +18,1 °C ja ulkoilman lämpötilaksi -4 °C sekä sisäilman lämpötilaksi +22 °C lämpötilaindeksiksi saadaan 85 %, joka on hyvä, sillä se täyttää hyvän tason vaatimukset $TI > 70$ %. Suomessa lämpötilaindeksille ei ole annettu selkeitä raja-arvoja, vaan esimerkiksi Suomen rakentamismääräyskokoelma antaa toiminnallisia ohjeita, määräyksiä ja suunnitteluarvoja. Koska selkeitä raja-arvoja ei ole, käytetään tulosten tulkinnassa terveydellisiä ohjeita. Nämä ohjeet antavat rakennukselle vähimmäistason. Raja-arvoja voidaan myös soveltaa sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeesta. Asumisterveysohjeessa alin sallittu pintalämpötila tyydyttävällä tasolla on +11 °C olettaen, että olosuhteet ovat vakiot. Lämpötilaindeksinä tämä on 61 %. Kuitenkin lähtökohtana on, että sisäilman kosteus ei pääse tiivistymään rakennuksen sisäpinnoille. Asumisterveysohjeen mukaan uudisrakentamisessa välttävä taso seinälle on 81 % - 87 % ja hyvä taso 87 % - 100 % (taulukko 1). Lämpötilaindeksi antaa peruskäsityksen rakenteen viasta, mutta se on vain laskennallinen luku ja sitä voidaan käyttää tulkittaessa asuintiloja. (RT 14-10850 Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus 2005, 2 ; Paloniitty & Kauppinen 2006, 66 - 67.)

Taulukko1. Asumisterveysohjeen antamat indeksin raja-arvot.

Määritelmä	Välttävä taso	Hyvä taso
Indeksi seinän lämpötilalle	81%-87%	87-100%
Indeksi lattian lämpötilalle	87%-97%	97%-100%
Indeksi pistemäisille vioille	61%-65%	65%-100%

3.4 Lämpökuvaajan pätevyudet

Tällä hetkellä lämpökuvaajalta ei edellytetä erillistä pätevyyttä viranomaismääräyksissä eikä viranomaisohjeissa. Kuvauksen onnistumisen kannalta on kuitenkin tärkeää, että kuvaaja on ammattitaitoinen ja kokenut. Hyvänä vaatimuksena voidaan pitää sitä, että kuvaajalla on riittävä tuntemus rakennustekniikasta ja lämpökuvauksesta. Lämpökuvaajan pätevyys voidaan osoittaa lämpökuvauksen perustutkintotodistuksella sekä VTT:n myöntämällä lämpökuvaajan sertifikaatilla. Kiinteistöjen lämpökuvaajien täydennyskoulutuksen lisäksi Rakennusteollisuuden koulutuskeskus järjestää kiinteistökurssin pohjalta henkilösertifiointiin tähtäävää koulutusta. Jos tilatulla lämpökuvaajalla on edellä mainittuja koulutuksia, voidaan olettaa, että kuvaaja osaa arvioida kuvattavan kohteen lämpötekniillistä toimivuutta ja osaa ottaa huomioon vaikuttavat tekijät tuloksia tulkitessaan. (Paloniitty & Kauppinen 2006, 13-14 ; RT 14-10850 Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus 2005, 2.)

3.5 Kuvaaminen

Lämpökuvaus ei ole nopea parin tunnin työ, vaan se vaatii kuvaajalta enemmän aikaa kuin uskoisikaan. Työ alkaa valmistelevilla toimenpiteillä, jotka tehdään jo 12 tuntia ennen kuvauksen aloitusta. Normaalisti tiedotetaan tutkittavan kohteen käyttäjiä tulevasta kuvauksesta, mutta työni kohteessa kuvaukset tehdään ennen rakennuksen luovutusta. Käyttäjätiedotteessa on ilmoitettava kuvausajankohta, kuvattavan tilan kalusteiden ja verhojen siirtämishjeet sekä ohjeita ilmastoinnin säädöistä. Kuvattavassa tilassa irtokalusteet on siirrettävä pois kuvattavilta ulkoseiniltä siten, että seinän viereen jää vähintään metrin levyinen vapaa tila. Mikäli halutaan kuvata kiintokalusteiden sisäpuolelta, on kaapit tyhjennettävä ja sokkelilevyt irrotettava. Näiden lisäksi verhot on siirrettävä ikkunan keskelle ja ilmastoinnin on oltava 24 tunnin ajan normaalilla käyttösäädöillä. Nämä valmistelevat työt on tehtävä 12 tuntia ennen var-

sinaista kuvausta lukuun ottamatta ilmastoinnin säätöjä. Jos edellä mainittuja toimenpiteitä ei tehdä ennen kuin vasta hetki ennen kuvausta, saadaan tuloksista vääristyneitä ja yleensä niissä näkyy liian alhaisia lämpötiloja. (RT 14-10850 Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus 2005, 3.)

Lämpökuvaajalla on omat valmistelevat toimenpiteensä. Kuvaaja täyttää kenttätyölomakkeen, johon selvitetään olosuhdetiedot 12 - 24 tunnin ajalta ennen kuvausta. Näitä tietoja ovat ulkoilman lämpötila, tuulen voimakkuus ja suunta. Aurinkoisella keliällä on merkittävä mahdollinen auringon aiheuttama lämpösäteily. Olosuhdetietojen lisäksi lomakkeeseen merkitään kohteen tiedot eli ulkoilman lämpötila kuvattavan kohteen läheisyydestä asteen tarkkuudella ennen kuvausta ja kuvauksen jälkeen, tuulen voimakkuus ja suunta kuvaksen aloitusajankohtana, sisäilman lämpötila kuvattavasta tilasta asteen tarkkuudella, vallitseva paine 1 Pa tarkkuudella sekä auringon paiste. Näiden lisäksi kenttätyölomakkeeseen tulee kuvattavan rakennuksen tiedot kuten runkotyyppi, alapohjan tuuletus, yläpohjan rakenteet, ilmanvaihtojärjestelmä sekä rakennuksen lämmitysjärjestelmä (liite 1). Kuvaus pääsee alkamaan, kun kuvaaja on täyttänyt tarvittavat tiedot lomakkeeseen. Yleensä kuvaus suoritetaan rakennuksen sisäpuolelta, mutta myös ulkopuolelta voidaan kuvata, jolloin nähdään esimerkiksi yläpohjan lämpövuodot. Ennen varsinaista kuvien ottamista, on kameran säädöt ja asetukset laitettava oikein. Kohteen kuvauksessa kameraan laitetaan emissioeroin, kuvausetäisyys, kuvattavan tilan sisäilman lämpötila ja kosteusprosentti. Kiinteistöjä kuvatessa emissiokertoimena voidaan käyttää 0,90, jos kuvataan normaaleja ulkoseinän ylä- ja alanurkkia. Sisätiloissa kuvattaessa kuvausetäisyys on hyvä pitää 2 - 4 metrissä ja mikäli kuvataan ulkopuolelta maksimi kuvausetäisyyden tulisi olla 10 metriä. (RT 14-10850 Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus 2005, 3 - 4.)

Rakennusta kuvatessa ei oteta kuvaa joka nurkasta tai ikkunanpielestä, vaan kuvat tallennetaan, jos tutkittavan kohteen pintalämpötila poikkeaa paljon eikä täytä 70 % lämpötilaindeksiä. Tällöin kyseessä voi olla vaipan ilmapuoto, eristevirhe tai kylmäsilta. Jos kuvattaessa löydetään poikkeamia rakenteissa, merkitään kuvattava kohta pohjapiirustukseen ja otetaan lämpökuva sekä valokuva, jotka esitetään lopullisessa mittausraportissa. Kuvaustapahtuma on hyvä pitää yksinkertaisena ja selkeänä. Lisäksi kaikki mittaukseen vaikuttavat tekijät pitää kirjoittaa muistiin. Kun kuvaus aloitetaan jostakin tietyistä kohdasta rakennusta, on lähdettävä etenemään selkeyden vuoksi myötäpäivään, jotta kaikki tarvittavat kohdat tulisi kuvattua. Yleensä kuvaus kohdistetaan ulkovaippaan, mutta samalla voidaan sisätiloista kuvata esimerkiksi

kosteusvaurioepäilyjä. Kuvattaessa rakennuksen liitoskohtia tiiveyden kannalta, hyvä menetelmä on alipainemenetelmä, jossa rakennusta kuvataan jopa 50 Pa alipaineessa ulkoilmaan nähden. Rakennuksen ulko-oveen asennetaan alipainepuhallin, joka aiheuttaa toimiessaan rakennukseen alipaineen (kuva 3). Puhallin ajaa alipainetta 50 Pa asti 5 - 10 Pa välein. Ensin kuvataan rakennus normaalipaineessa ja sen jälkeen 50 Pa alipaineessa. Tällä menetelmällä saadaan ongelmakohdat paremmin esille. Lämpökuvauksessa voidaan käyttää apuna monia eri oheislaitteita, mutta tärkeimmät laitteet ovat elektroninen lämpömittari, paine-eromittari ja suhteellisen kosteuden mittari. Kyseisten laitteiden pitää olla kalibroituja standardin SFS 5511 mukaisesti ja täyttää standardin vaatimukset. (RT 14-10850 Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus 2005, 3 - 4.)



Kuva 3 Puhallin. Kuva Panu Tuunainen

3.6 Tulosten tulkinta ja raportointi

Kuvaustapahtuman jälkeen kuvaajalla on edessään kuvien tulkinta ja lämpökuvausraportin tekeminen. Kuvat siirretään kamerasta tietokoneelle, jossa ne käydään läpi

raportointiohjelmalla. Kuvia tarkasteltaessa on hyvä kirjoittaa huomioita kuvista, mikä helpottaa raportin tekemistä. Itselläni oli käytössä Flir QuickReport -ohjelma, jolla sai helposti siirrettyä kuvat koneelle ja samalla kuvia pystyi muokkaamaan ja kirjoittamaan huomioita muistiin niin, että ne tulivat suoraan näkyviin raporttiin (liite 2). Kuvien tulkinnassa on tärkeää, että ymmärtää, mistä mahdollinen poikkeama voi johtua. Jos esimerkiksi kuvassa näkyy joku kohta kylmempänä, tämä ei aina tarkoita, että kohta on kylmä, vaan se voi olla myös kosteutta (kuva 4). Tulosten tulkintaa helpottaa, jos kameraan on säädetty jo ennen kuvausta automaattinen lämpötilaskaalaus ja laaja väripaletti. Tällöin kamera säätää värit kuvasta valmiiksi eikä poikkeamia korosteta liikaa. Jos poikkeamat korostuvat liikaa, kuvien tulkinnassa ilmenee helposti virheitä (kuva 5). Tulosten tulkinnassa on käytettävä viranomaismääräyksiä. Rakenteiden toiminnallisia vaatimuksia on listattu Suomen rakentamismääräyskokoelmassa, jossa lämpöoloista on annettu suunnittelussa käytettäviä tavoitearvoja. Asumisterveysohje käsittelee asiaa terveydellisestä näkökulmasta, mutta ei ota kantaa rakennusvirheisiin. Molempia vaatimuksia/ohjeita on huomioitava tulosten tulkinnassa, jotta tulokset saadaan analysoitua riittävän tarkasti. Raporttia tehdessä on rajattava raportoitavat poikkeamat, jotta raportissa ei olisi ylimääräistä tietoa, jota ei tarvitse huomioida. Kuvaajan on kirjattava asiat, jotka vaikuttavat oleellisesti lämpöviihtyvyyteen, rakenteiden toimintaan, rakenteiden vaurioitumiseen tai pitkäaikaiskestävyyteen. Näitä ovat eristeviat, ilmavuodot, kylmäsillat, kosteusvauriot ja mahdolliset taloteknilliset viat tai puutteet. Sisäpuolelta kuvatessa voidaan käyttää apuna lämpötilaindeksiä. Jos indeksi alittaa 70 %, päätetään korjausluokitus. Asuin- ja oleskelutiloissa on neljä korjausluokitusta:

1. Korjattava

TI < 61 %

Pintalämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen välttävää tasoa.

2. Korjaustarve selvitettävä

TI = 61 - 65 %.

Täyttää Asumisterveysohjeen välttävän tason, mutta korjaustarvetta on erikseen harkittava.

3. Lisätutkimuksia

TI > 65 %

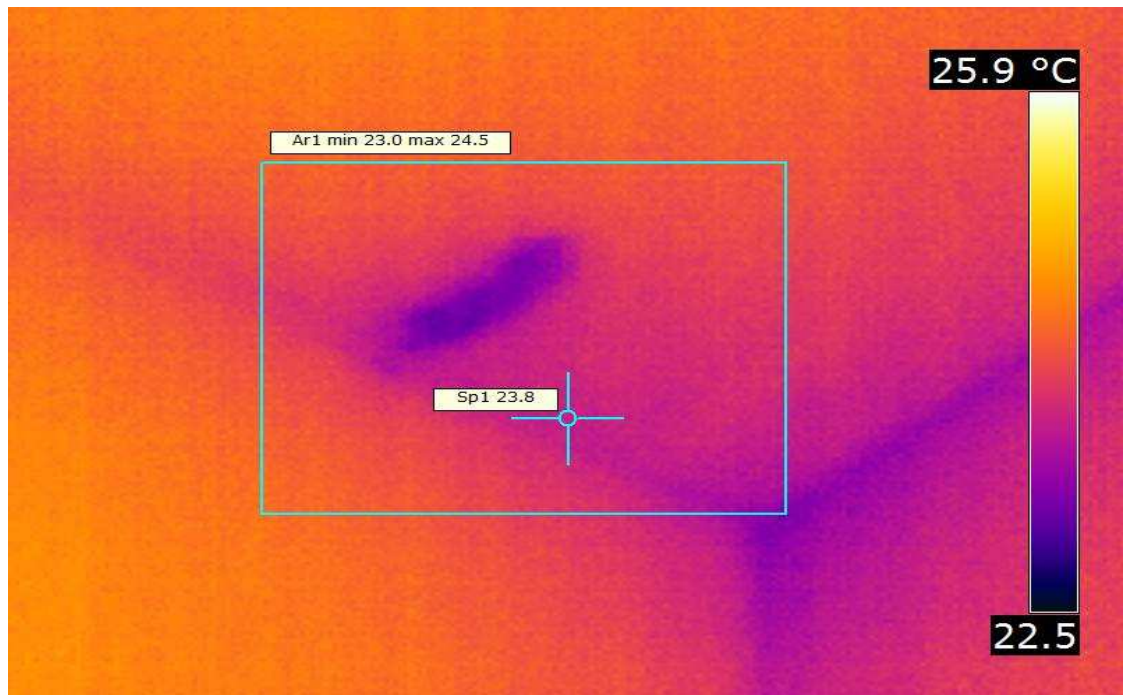
Täyttää Asumisterveysohjeen hyvän tason, mutta tilan käyttötarkoitusta huomioiden tilassa voi piillä kosteus- tai lämpötekniillisen toiminnan riski.

4. Hyvä

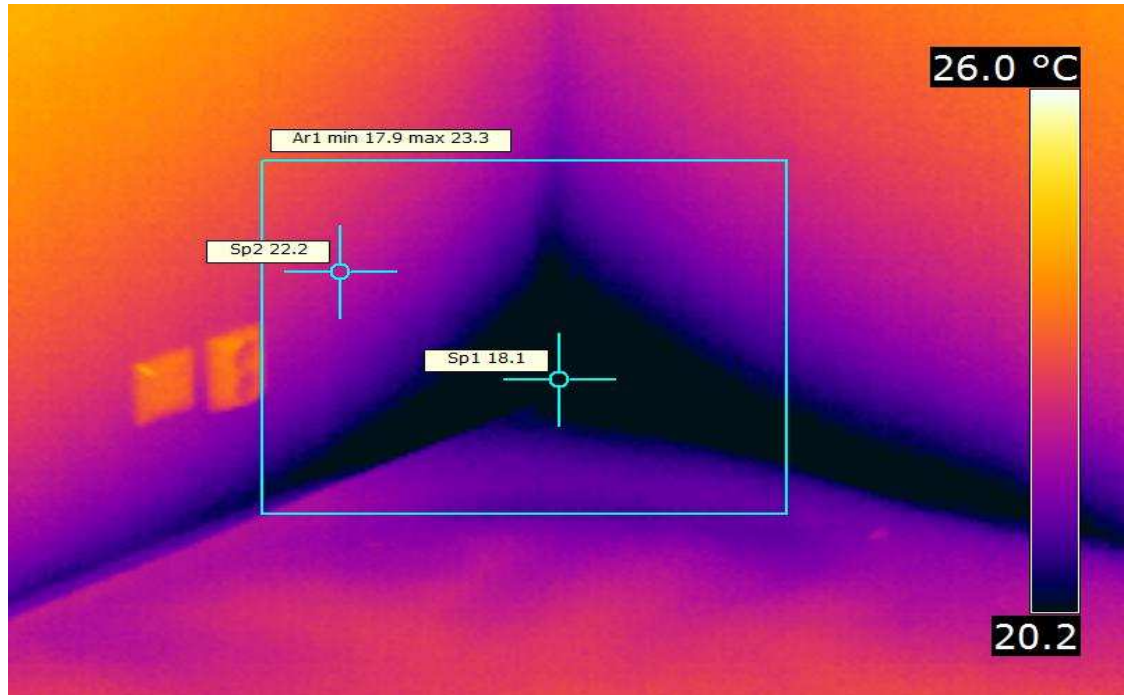
TI > 70 %

Täyttää Asumisterveysohjeen hyvän tason. Ei vaadi korjaustoimenpiteitä.

Lämpökuvausraportti sisältää rakenteiden lämpötekni- sen kunnan tutkimusraportin, tutkimusselostuksen, kohteen lämpötekni- sen kokonaisuuden tarkastelun sekä mitta- usraportin. Mittausraportti sisältää kuvatu- n kohteen tiedot, kuvauspaikan ja ajan, tie- dot mittauskalustosta, kameran asetukset, kuvaajan tiedot sekä kirjallisen yhteenve- don. (RT 14-10850 Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekni- nen toimi- vuus 2005, 5, 7.)



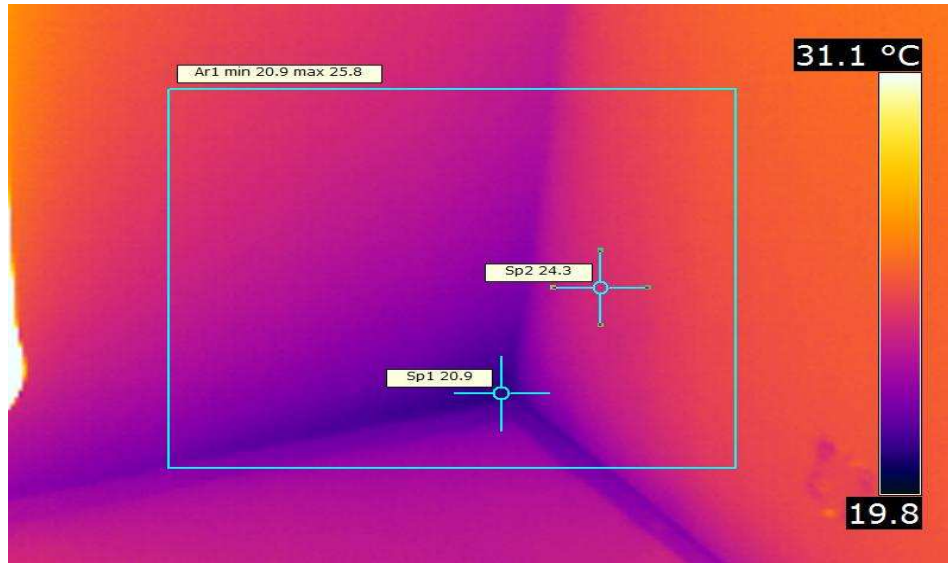
Kuva 4 Kosteutta ontelolaatan ontelossa. Rakennusaikana ontelolaattoihin oli jäänyt vettä, joka havaittiin vasta lämpökameralla. Kuva Panu Tuunainen



Kuva 5 Korostettu virhe. Nurkan lämpötila on aivan normaali, mutta väärin käytettynä kamera korostaa lämpötilaeroja liikaa. Kuva Panu Tuunainen

3.7 Lämpökuvauksen tulokset

Suoritin lämpökuvauksen kohteessa kahdessa osassa. Ensimmäisellä kerralla kävin koko rakennuksen läpi lämpökameran kanssa ja otin lämpökuvia epäilyttävistä kohdista. Kohde oli vielä rakennusvaiheessa, joten tarkoituksena oli se, että mikäli rakenteista löytyisi vikoja, ne voitaisiin vielä korjata. Asuinhuoneista ei löytynyt mitään kuvattavia vikoja, mutta otin silti työtäni varten esimerkkikuvia (kuva 6). Ainoat kylmät kohdat rakennuksessa olivat hätäpoistumisteiden ulko-ovet, jotka sijaitsevat yleisissä tiloissa. Näihin oli vielä siinä vaiheessa laitettu uretaanieriste hieman huolimattomasti (kuva 7).

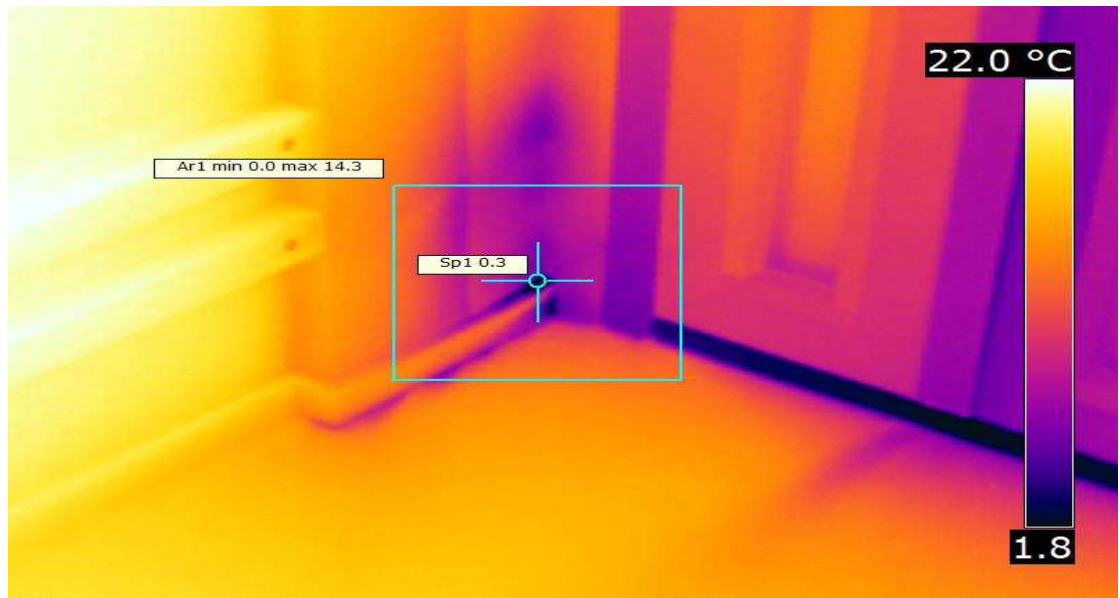


Kuva 6 Esimerkkikuva oikein säädetyllä kameralla. Kuva Panu Tuunainen



Kuva 7 Ovien tiivistys oli tehty huolimattomasti. Kuva Panu Tuunainen

Toisen lämpökuvauksen suoritin kohteessa vähän ennen sen luovutusta, jolloin rakennus oli siivousta vaille valmis. Tässä kuvauksessa en kiertänyt enää koko rakennusta läpi, vaan kuvasin uudestaan ne rakennuksen kohdat, joissa oli ollut edellisellä kerralla huomautettavaa. Toisella kuvauskerralla suoritettiin samalla tiiveysmittaus, jolloin sain otettua kuvat 50 Pa alipaineessa. Tälläkin kertaa löytyi vielä kylmiä vuoto-kohtia samoista rakennuksen ovista (kuva 8). Kuten kuvasta näkyy, listan ja oven karmin välissä ei ole kuin $+0,3\text{ °C}$. Ovien pieliin oli jo asennettu pellit ja listat, mutta nämä oli vielä helppo poistaa ja korjata viat. Itse arvelin kylmän kohdan johtuvan huolimattomasti asennetusta uretaanieristeestä ja kittauksesta pellityksen alla. Nämä korjaamalla saadaan nurkkaus lämpimämmäksi.



Kuva 8 Lämpökuva kylmästä oven nurkasta. Oven tiivistys oli tehty huolimattomasti ja lämpökuvassa se näkyi selvästi. Kuva Panu Tuunainen



Kuva 9 Valokuva kylmästä oven nurkasta. Kuva Panu Tuunainen

4 ILMATIIVEYSMITTAUS

4.1 Miksi rakennus tulee olla ilmatiivis?

Uudisrakentamisessa rakennuksen vaipan tiiveys on tullut koko ajan tärkeämmäksi asiaksi rakentamisessa. Uudet rakennukset on pyrittävä tekemään niin, että käyttötilassa sisäilma ei pääse kulkeutumaan rakenteisiin. Koska ihminen ja ihmisen toiminta aiheuttaa kosteutta sisäilmaan, tämä lämmin ja kostea ilma on erittäin haitallista, jos se pääsee rakennuksen rakenteisiin. Kosteaa ilmaa aiheuttaa kulkeutuessaan konvektion avulla rakenteisiin kosteus- ja homeongelmia. Siksi rakennukset tehdään tiiviiksi ja kostea sisäilma hoidetaan oikeanlaisella ilmanvaihtojärjestelmällä pois sisätilasta ulkoilmaan. Rakennuksen tiiviys lisää myös energiatehokkuutta, koska rakennuksen lämmittäminen maksaa ja mikäli rakennus vuotaa lämmintä ilmaa ulos, lämmitystä tarvitaan enemmän kuin tiiviissä rakennuksessa. 2000-luvulla on uudisrakentamisessa alettu vaatia energiatodistuksia, joilla todistetaan rakennuksen tiiviys ja energiatehokkuus. Asuinrakennuksessa tiivis vaippa lisää asumisviihtyvyyttä. Jos kylmä ulkoilma pääsee virtaamaan rakenteiden läpi asuntoon, se aiheuttaa vedon tunnetta. Tiivis rakenne takaa myös sen, että mahdolliset terveydelle haitalliset aineet ja itiöt eivät pääse hengitettävään sisäilmaan. (Paloniitty, 2012, 7.)

4.2 Mitä ilmatiiveys tarkoittaa?

Ilmatiiviydestä puhuttaessa tarkoitetaan vesi-, ilma- ja vesihöyrytiiviyttä. Ilmatiiviyys mittaa sitä, kuinka hyvin rakenne pystyy estämään ilman liikettä rakenteiden läpi. Ilmatiiviyden mittauksessa mitataan rakennuksen vaipan läpi kulkevaa ilmavirtaa. Nykyrakentamisessa rakennukset pyritään tekemään niin, että ilma ei pääse läpäisemään rakennuksen vaippaa, mutta näissäkin tapauksissa ikkunoiden ja ovien pielet ovat yleensä niitä kohtia, joista ilma pääsee läpi. (Paloniitty, 2012, 12.)

4.3 Paine-ero

Ilmanpaine riippuu mitattavan paikan korkeudesta ja sääoloista. Maan pinnalla ilmanpaine on noin 1 Bar eli 100 000 Pa (pascal). Rakennuksessa sisäilman ja ulkoilman välillä on paine-eroja. Ilmanvaihtojärjestelmällä varustetuissa uudisrakennuksissa pyritään tekemään niin, että sisäilma on hieman alipaineinen ulkoilmaan nähden noin 10 Pa. Ilmanvaihtojärjestelmä pyrkii pitämään rakennuksen alipaineisena, jotta kylmän ulkoilma ei lämmitessään pääse tiivistymään vuotokohdissa rakenteisiin. Tiiviysmittauksia tehtäessä mitattavaan tilaan aiheutetaan 50 Pa:n alipaine erillisellä puhaltimella. Jos alipaine lähenee 90 Pa, se voi aiheuttaa rakenteiden liitosten vaurioitumista, siksi tätä ei suositella. Lämpökuvauksessa käytetään normaalisti noin 15 Pa alipainetta. Suurin suositeltava alipaine rakennusta käytettäessä on 30 Pa. Paine-ero aiheutuu monesta tekijästä, kuten savupiippuvaikutuksesta, tuulenvaikutuksesta, sekä ilmanvaihtojärjestelmän vaikutuksesta. (Paloniitty, 2012, 8.)

4.3.1 Savupiippuvaikutus

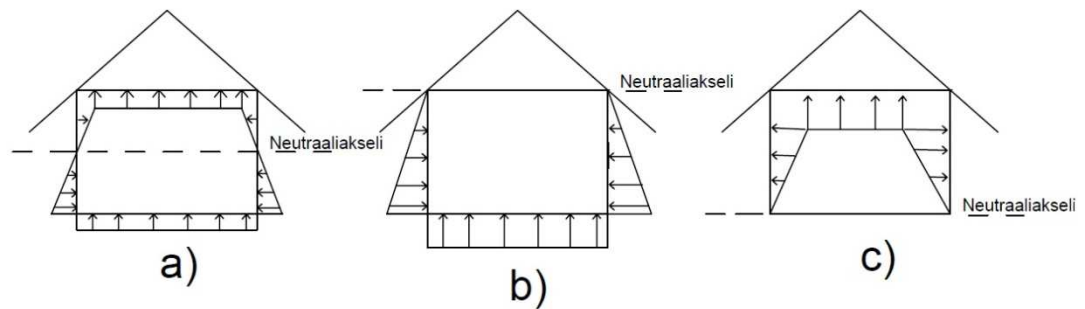
Savupiippuvaikutuksella tarkoitetaan ilmiötä, jossa tiheydeltään pienentynyt lämmin ilma nousee ylöspäin ja aiheuttaa rakennuksen yläosassa ylipainetta. Eli käytännössä kylmä ilma virtaa rakennuksen alaosaan sisään ja lämmitessään se nousee yläosaan, josta se virtaa ulos rakennuksesta. Jos ilmaa jäähdytetään, se toimii painostin. Mitä korkeampi rakennus on, sitä enemmän savupiippuvaikutus korostuu. Myös sisä- ja ulkolämpötilaerot korostavat vaikutusta. Kun rakennus on yläosaan ylipaineinen ja alaosaan alipaineinen, jossain kohtaa rakennusta on neutraaliakseli. Neutraaliakselin sijainti riippuu rakennuksen tiiviydestä ja vuotokohtien sijainnista. Jos esimerkiksi vuotokohta on alaosaan, neutraaliakseli on rakennuksen alaosaan ja yläosan ylipaine on suurempi. Paine-erolle on olemassa myös kaava, jolla sen suuruus voidaan laskea:

$$\Delta p = 0,043 \times \Delta t \times h, \text{ jossa}$$

$$\Delta t = t_{\text{sisäilma}} - t_{\text{ulkoilma}} \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$h = \text{etäisyys neutraaliakselista (m)}$$

(Paloniitty, 2012, 9.)



Kuva 10 Neutraaliakselin sijainti. a) vuotokohdat jakautuneet tasaisesti, b) vuotokohdat yläosassa, c) vuotokohdat alaosassa. Kuva Panu Tuunainen

4.3.2 Tuulen vaikutus

Rakennuksen sisä- ja ulkoilman paine-eroon vaikuttaa rakennuksen muoto, koko, sijainti sekä tuulen suunta ja voimakkuus. Mikäli rakennus on suojaisassa paikassa, tuuli ei vaikuta juurikaan paine-eroihin, mutta jos korkea rakennus on avonaisella paikalla, tuuli on otettava huomioon paine-eroja tarkasteltaessa. Tuulen aiheuttamaa painetta on hankala määrittää tarkasti, mutta sen vaikutusta voidaan laskea kaavalla, joka on suuntaa-antava. Kyseessä on Bernoullin yhtälö:

$$\rho = c \times 0,5 \times \rho v^2, \text{ jossa}$$

c = Rakennuksen muodosta ja tuulen suunnasta riippuva vakio

ρ = Ulkoilman tiheys (kg/m^3)

v = Tuulen nopeus (m/s)

(Paloniitty, 2012, 10.)

4.3.3 Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus

Ilmanvaihtojärjestelmiä on yleensä kahdenlaisia, painovoimainen ja koneellinen ilmanvaihto. Painovoimainen ilmanvaihto perustuu savupiippuilmistöön, jossa kylmä ilma virtaa rakennuksen alaosasta ja lämmitessään nousee yläosaan. Lämminnyt ilma poistuu yläosasta tuuletusventtiilien kautta. Painovoimainen ilmanvaihto toimii parhaiten, kun ulko- ja sisäilman lämpötilaerot ovat isot. Lämpiminä ja tyyneinä kesäpäivinä ilmanvaihto ei toimi kunnolla, koska lämpötilaerot ovat niin pienet, ettei ilma kierrä rakennuksessa automaattisesti. Yleensä vanhemmissa taloissa ilmanvaihto on toteutettu painovoimaisena. Myöhemmin on lisätty esimerkiksi märkätilojen ja wc-tilojen poistoventtiileihin puhaltimet, jotka puhaltavat likaisen ilman pois ja aiheuttavat

lievän alipaineen rakennukseen. Näin ulkoilma pääsee virtaamaan rakennukseen ja ilma vaihtuu. Koneellista ilmanvaihtoa on olemassa kahdenlaista. Yksinkertaisempi versio on pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto, joka puhaltaa ilmaa pois rakennuksesta ja korvaava ilma otetaan tuuletusventtiileistä. Tehokkaampi ja monipuolisempi järjestelmä on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, jossa poistoilman lisäksi tuloilma hoidetaan koneellisesti. Tämä ratkaisu antaa mahdollisuuden lämmitää, jäähdyttää ja puhdistaa rakennukseen tulevaa ilmaa, joka taas parantaa sisäilman laatua. Koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään voidaan liittää myös lämmön talteenottojärjestelmä, joka ottaa poistoilmassa olevan lämmön talteen ennen ulos puhaltamista. Uudisrakennuksiin tehdään yleensä jälkimmäinen järjestelmä, koska tiiviit rakennukset vaativat oikeanlaisen ilmanvaihdon toimiakseen. Asuinrakennuksessa tuloilmaventtiilit sijoitetaan makuuhuoneisiin ja oleskelutiloihin ja poistoilma puhalletaan wc- ja märkätiloista sekä keittiön liesituulettimesta pois. Koneellisella ilmanvaihtojärjestelmällä saadaan rakennukseen lievä alipaine, joka on 0-10 Pa. Toisin kuin painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä rakennuksen alaosassa on lievä alipaine ja yläosassa lievä ylipaine. (Paloniitty, 2012, 11 - 12.)

4.4 Rakennuksen ilmatiiveysmittaus

Rakennusten ilmatiivyyttä mitataan paine-eromenetelmällä, jossa rakennuksen sisätilaan aiheutetaan 50 Pa alipaine ulkoilmaan nähden. Alipaine saadaan aikaan siihen tarkoitetulla puhaltimella, joka asetetaan esimerkiksi ulko-oveen. Paine-eroa pidetään yllä puhaltimen avulla ja samalla mitataan tarvittava ilmamäärä. Mittauksessa mitataan kuinka paljon ilmaa tarvitaan, jotta 50 Pa alipaine säilyisi tunnin ajan. Saatua lukua jaetaan mitattavan tilan ilmatilavuudella, josta saadaan ilmanvuotoluku n_{50} (1/h). Kyseinen luku ilmaisee kuinka monta kertaa mitattavan rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnin aikana vaipan vuotoreittien kautta, kun rakennuksessa vallitsee 50 Pa alipaine. Toinen mitattava luku on q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$], joka saadaan kun tarvittava ilmamäärä jaetaan vaipan pinta-alalla. Luku q_{50} puolestaan kertoo, kuinka paljon rakennuksen vaipan läpi kesimäärin virtaa vuotoilmaa tunnissa 50 Pa alipaineessa. Rakennuksen lämmöntarvetta laskiessa tarvitaan lähtötiedoiksi kyseistä n_{50} ilmavuotolukua. Ilmavuotoluvulle on annettu kolme rajaavaa arvoa:

Erinomainen < 1,0

Normaali 1,0 - 2,0

Heikko > 4,0

(RakMk D3 energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012, 4 ; Paloniitty, 2012, 14.)

4.5 Tiiveysmittauksen tärkeys

Uudisrakentamisessa on tärkeää mitata rakennuksen vaipan tiiviys, jotta saadaan tarvittavat lähtötiedot rakennuksen lämmöntarpeen laskemiseen. Uusissa kohteissa tarkastetaan energiatodistuksen tiedot ja lämpöhäviöiden tasauslaskelmat. Mikäli rakennus on jo käytössä, lämmöntarvetta tarkastellaan energiakatselmuksen yhteydessä. Näiden lisäksi tiiveysmittauksella voidaan paikantaa rakenteiden vuotokohdat ja jos rakennus on vielä rakennusvaiheessa viat voidaan korjata helposti. Rakenteiden tiiviys vaikuttaa rakennuksen energiakulutukseen, lämpövihtyvyyteen, sekä kosteustekniseen toimintaan. Rakennuksen energiankulutusta laskiessa on huomioitava vaipan läpi kulkeutuvan vuotoilman lämmitykseen tarvittava energia, jonka laskemiseen on olemassa kolme kaavaa. Ensimmäisessä kaavassa lasketaan vuotoilman ilmavirta q_v (m³/s).

$$q_{v,vuotoilma} = \left(\frac{q_{50}}{3600 * X} \right) * A_{vaippa}$$

X = kerroin, joka määräytyy rakennuksen kerroksien lukumäärästä

1-kerroksinen = 35

2-kerroksinen = 24

3-4 kerroksinen = 20

5-kerroksinen ja sitä korkeammat = 15

Toisessa kaavassa lasketaan vuotoilman ominaislämpöhäviö $H_{vuotoilma}$ (W/K)

$$H_{vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * q_v$$

ρ_i = ilman tiheys (1,2kg/m³)

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 Ws/(kgK))

q_v = vuotoilman vuotoilmavirta (m³/s)

Kolmannessa kaavassa lasketaan vuotoilman lämmitykseen tarvittava energia $Q_{vuotoilma}$ (kWh)

$$Q_{vuotoilma} = H_{vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t \div 1000$$

$H_{vuotoilma}$ = vuotoilman ominaislämpöhäviö (W/K)

T_s = sisäilman lämpötila (°C)

T_u = ulkoilman lämpötila (°C)

Δt = ajanjakson pituus (h)

1000 = kerroin, jolla muutetaan laatu kilowattitunneiksi

(RakMk D3 energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012, 14, 23 ; Paloniitty, 2012, 18.)

Rakennuksen tiiveys vaikuttaa rakenteiden kosteustekniseen toimintaan huomattavasti, sillä se estää lämpimän sisäilman kulkeutumisen viileään ulkoilmaan. Mikäli kostea sisäilma pääsee kulkeutumaan ulkoilmaan, se samalla kasvattaa kosteuden kondensoitumisriskiä rakenteisiin, joka voi aiheuttaa rakenteissa kosteusongelmia. Lämpimän asuinrakennuksen sisäilma sisältää vesihöyryä, jonka kulkeutumista rakenteisiin estetään höyrynsulkumuovilla. Jos rakenteissa on vuotoja, ilman mukana kulkeutuu vesihöyryä konvektion avulla rakenteisiin. Kosteusvirta voidaan laskea kaavalla $g = v \cdot Q$, jossa

g = kosteusvirta (g/s)

v = vesihöyrypitoisuus ilmassa (g/m³)

Q = ilmavirta (m³/s)

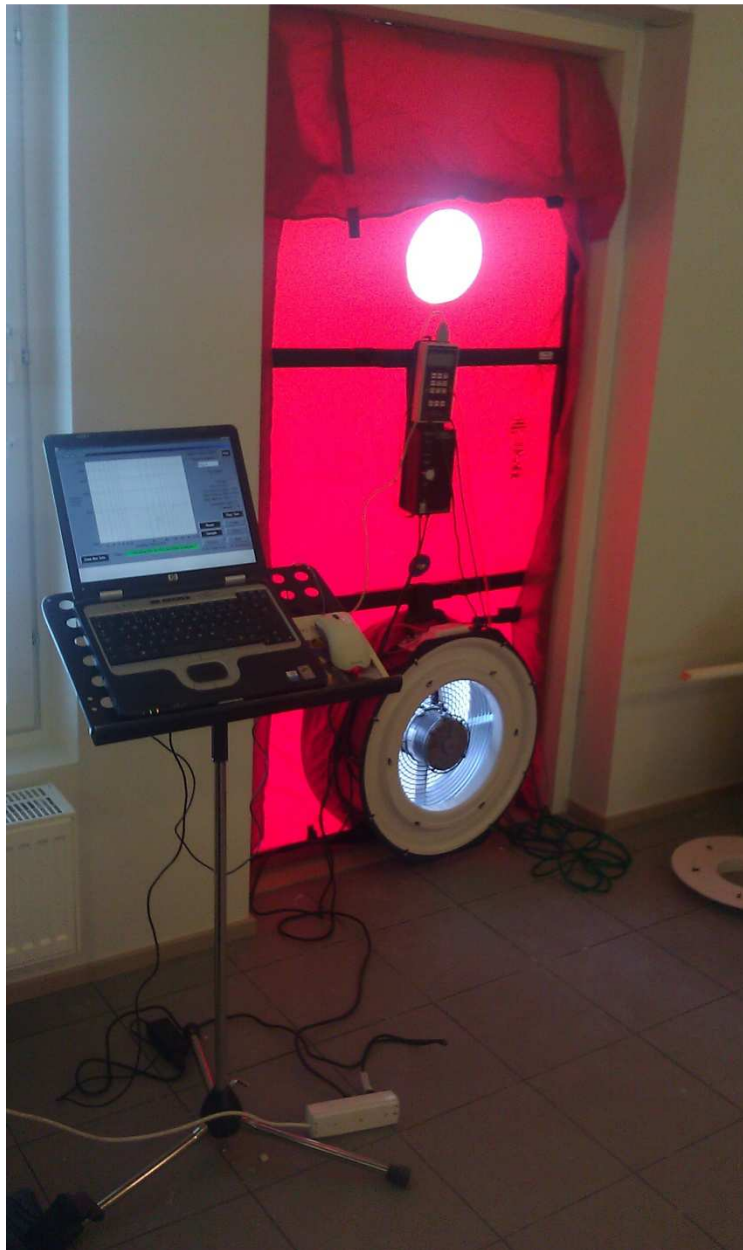
(Paloniitty, 2012, 16 - 17.)

4.6 Mittauksen suorittaminen

Mitattavassa kohteessa päädyttiin kahteen mittaukseen suuren ilmatilavuuden vuoksi. Ensimmäisessä mittauksessa mitattiin toinen kerros ja toisessa mittauksessa ensimmäinen kerros, porraskäytävä sekä iv-konehuone. Tiiveysmittauksen suoritti Savonia-ammattikorkeakoulun testausinsinööri ja ilmavuotojen paikannuksen lämpökameralla tein itse.

Ennen rakennuksen tiiveysmittausta on tehtävä kaikki tarvittavat valmistelevat työt. Mitattava alue ei saa olla ilmateitse yhteydessä ulkoilmaan, sillä silloin mittauksella on turha tehdä virheellisten tulosten takia. Ensimmäisenä sammutettiin rakennuksen ilmastointikone, jolla hoidettiin koko rakennuksen ilmanvaihto. Iv-kone sammutettiin nappia painamalla, jolloin kaikki palopellit menivät myös kiinni. Näin saatiin kaikki ilmastointiputket ilmatiiviiksi. Seuraavaksi tarkistettiin, että ilma ei pääse vaihtumaan liesituulettimien kautta. Tuulettimissa oli automaattiset alipaineventtiilit, jotka menivät kiinni koneen sammuttamisen jälkeen. Kun kaikki tuulettimet olivat ilmatiiviit, oli käytävä kaikki kaivot läpi, jotta niiden vesilukoissa oli vettä. Kaivojen tarkistuksen yhteydessä kierrettiin koko mitattava alue läpi, jottei siellä ole avonaisia ikkunoita ja ovia. Kun kaikki oli tarkistettu, suljettiin toisen kerroksen porraskäytävän ovi ja teipattiin kiinni, ettei ilma pääse virtaamaan porrashuoneesta. Tiiveysmittauksessa käytettävä puhallin (kuva11) asetettiin terassin ulko-oveen, josta se pääsi puhaltamaan ilman rakennuksesta ulos. Ennen mittauskaluston käynnistämistä tietokoneelle piti syöttää kaikki tarvittavat lähtötiedot. Mittausta varten oli laskettava mitattavan alueen ilmatila-

vuus sekä ulkoseinien, yläpohja ja lattian vaipat. Kun kaikki tarvittavat tiedot oli syötetty koneelle, voitiin aloittaa mittaus.



Kuva 11 Mittauskalusto. Kuva Panu Tuunainen

Aluksi kone mittasi sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron puolen minuutin ajalta. Seuraavaksi puhallin käynnistyi ja alkoi imeä alipainetta rakennukseen. Puhaltimessa oli useita kuristusrenkaita (kuva 12), joilla säädettiin ilmanvirtausta puhaltimen läpi. Kun löydettiin sopiva renkaan koko, puhallin aiheutti mitattavaan kohteeseen noin 70 Pa alipaineen, josta se tiputti portaittaisesti alipainetta ja samalla mittasi, paljonko ilmaa tarvitaan alipaineen pitämiseen. Kun alue oli mitattu, koneeseen laitettiin cruiser-asento päälle, jolloin se piti 50 Pa alipainetta yllä sillä aikaa, kun kävin rakennuksen rakenteita läpi lämpökameralla. Tarkoituksena oli löytää mahdollisia ilmavuotoja, mut-

ta asuinhuoneista niitä ei löytynyt. Rakennuksessa on useampi hätäpoistumistie, joiden ovien reunat vuotivat hieman (kuva 13). Kun vuotokohtien paikantaminen oli tehty, kone sammutettiin ja testi toistettiin ensimmäisessä kerroksessa.



Kuva 12 Kuritusrenkaita. Kuva Panu Tuunainen



Kuva 13 Oven kylmä nurkka. Kuva Panu Tuunainen

Tiiveysmittauksen suorittamisessa oli huomioitava ja valmistettava paljon erilaisia asioita, varsinkin kun kohde oli vielä rakennusvaiheessa ja työmiehet olivat vielä tekemässä viimeisiä töitä ennen luovutusta. Itse hoidin mittauksen järjestelyt ja valmistelut, jotta itse mittaus ei kestäisi kauan. Mittauspäivän sopiminen oli hankalaa, koska oli huomioitava työmaan aikataulut ja työvaiheet. Ensimmäinen sovittu mittauspäivä ei käynytkään, koska samalla viikolla työmaalla oli menossa ilmastointijärjestelmän testaukset eikä iv-konetta ollut mahdollista sammuttaa tiiveysmittauksen ajaksi. Koska mittaus suoritettiin työpäivän aikana, oli järjesteltävä työpäivän aikataulu niin, ettei mittauksen aikana mitattavassa tilassa ole ylimääräisiä henkilöitä ja häiriöitä. Tämä oli hankalaa, koska työmaalla oli useita eri aliurakoitsijoita eikä työmiesten informointi onnistunut kunnolla. Onneksi sain ohjeistaa työmiehiä vahtimaan ovia, ettei niistä kuljeta mittauksen aikana. Itse mittaus ei ole monimutkainen projekti ja se onnistuu hyvin, kun muistaa ennakoida ja valmistella asiat tarpeeksi hyvin. Vaikeinta itse mittauksessa oli ilmatilavuuden, ulkoseinien, yläpohjan ja lattian vaipan laskenta.

4.7 Tiiveysmittauksen tulokset

Työmaalla suoritettujen lämpökamerakuvauksien ja ilmatiiveysmittauksien tulosten perusteella rakennus on tiivis ja huolellisesti rakennettu. Rakenteiden liitoskohdat on tehty huolellisesti, eikä suurempia ilmavuotoja löytynyt.

Ensimmäisessä tiiveysmittauksessa mitattiin rakennuksen toinen kerros, josta kone antoi n_{50} -luvuksi 0,26 1/h (liite 3). Saatua lukema muutettuna q_{50} -luvuksi oli 0,3 m³/h*m². Tuloksesta voidaan päätellä, että rakenteet ovat tiiviit sillä, jos n_{50} -luku on alle 0,6 tiiviysmittausluokituksessa rakennus kuuluu luokkaan A. Toisessa mittauksessa mitattiin ensimmäinen kerros, porrashuone, sekä iv-konehuone. Kone mittasi n_{50} -luvuksi 0,61 1/h (liite 3). Muutettuna kyseinen lukema on q_{50} -lukuna 0,7 m³/h*m². Tämäkin tulos on vielä hyvä, sillä se menee mittausluokituksessa luokkaan A.

Tiiveysmittausluokitus:

A: Alle 0,6

B: 0,7 - 1,0

C: 1,1 - 1,5

D: 1,6 - 2,0

E: 2,1 - 3,0

F: 3,1 - 4,0

G: Yli 4,1

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

5.1 Työssä käytetyt menetelmät

Työtä tehdessäni käytin testausmenetelminä lämpökamerakuvausta sekä ilmatiiveysmittausta. Rakennusvaiheessa käytin apunani lämpökameraa, jolla kuvasin rakennuksen rakenteita ja etsin mahdollisia virheitä. Ennen luovutusta suoritettiin ilmatiiveysmittaus, jolla saatiin lopullinen tulos rakennuksen tiiveydelle.

5.1.1 Lämpökuvaus

Lämpökamerakuvaus on laadunvarmistuksen menetelmänä helppo apuväline rakennusvaiheessa olevan rakennuksen tarkastamisessa. Rakennusvaiheessa olevan rakennuksen kuvaaminen on helppo ja yksinkertainen menetelmä, sillä kameralla voidaan tarkastella rakennusta tai tiettyä rakennetta ilman, että siitä tehdään erillistä raporttia. Tästä syystä olosuhteiden ei tarvitse olla niin tarkat sillä kuvauksesta ei tehdä virallista raporttia. Rakennustyömaan oma laadunvarmistus on helppo toteuttaa lämpökameralla, koska sillä voidaan kuvata milloin vaan ja vaikka olosuhteet eivät ole optimaaliset kameralla voidaan havaita ongelmakohtia. Työmaalle tehtävä lopullinen lämpökamerakuvaus on suoritettava huolellisesti ja silloin on olosuhteet oltava oikeanlaiset, jotta virallinen raportti voidaan tehdä.

5.1.2 Tiiveysmittaus

Rakennusvaiheen laadunvarmistuksesta puhuttaessa paras menetelmä on lämpökamerakuvaaminen, sillä sitä voidaan käyttää vaikka rakennus on vielä kesken. Ilmatiiveysmittauksen suorittaminen vaatii, että rakennus on siinä vaiheessa, että sen rakenteet on tiivistetty ja rakennus oletetaan olevan tiivis. Tämä vaatii sen, että kaikki ikkunan ja ovien pielet on tiivistetty ja ilmastointikoneet on asennettu, sekä rakennus on muutenkin melkein valmis. Tästä syystä ilmatiiveysmittaus ei ole paras mahdollinen rakennusvaiheen laadunvarmistus menetelmä, sillä rakennus on yleensä jo lähellä luovutusta, kun siihen suoritetaan tiiveysmittaukset. Toki tiiveysmittaus on ajoitettava niin, että sen jälkeen on mahdollista vielä mahdollisia korjauksia, mutta korjausten kustannukset kasvavat valmiiden rakenteiden vuoksi.

5.2 Menetelmien toimivuus ja kehitysideat

Rakennusvaiheen laadunvarmistus menetelmistä toimivin menetelmä on lämpökamerakuvaaminen, sen helppokäyttöisyyden vuoksi. Lämpökameralla voidaan kuvata melkein milloin vaan rakennusvaiheessa ja sillä voidaan havaita ongelmia jo hyvissä ajoin, jolloin viat ovat helppoja ja edullisia korjata. Ilmatiiveysmittauksen suorittaminen rakennusvaiheessa on ongelmallista ja siksi se suoritetaan vasta ennen luovutusta. Tiiveysmittauksessa havaitut ongelmat ovat vielä yleensä korjattavissa, mutta niiden korjaaminen maksaa huomattavasti enemmän, koska rakennus on jo melkein valmis. Ilmatiiveysmittauksen tekemisen helpottamiseksi syntyi idea, miksi suunnittelija ei laskisi jo piirustuksiin valmiiksi rakennuksen tarkat ilmatilavuudet sekä rakennuksen ala-, ylä- ja ulkoseinien vaipat. Tämä helpottaisi ja nopeuttaisi tiiveysmittauksen tekemistä huomattavasti ja samalla saataisiin tuloksiin varmasti oikeat lukemat.

Tuloksia tutkiessa voi päätellä, että rakentamisvaiheessa käytetty laadunvarmistus ei ole mennyt hukkaan vaan siitä on ollut oikeasti hyötyä rakentajalle. Rakentamisvaiheen laadunvarmistus on vielä nykyisin vähäistä, mutta siitä puhutaan jo paljon ja se pitäisi ottaa kaikkien rakentajien käyttöön, koska rakentamisvaiheen laadunvarmistamisella vältetään monet virheet rakentamisessa. Luulen, että työni jälkeen Skanska Talonrakennus Oy ottaa ainakin Kuopion alueella käyttöön rakentamisvaiheen laadunvarmistuksen lämpökameralla käyttöön, koska sen hyöty on tuotu työssäni esille.

5.3 Tavoitteiden toteutuminen

Työni tavoitteena oli suorittaa Hoivakoti Aurinkopuiston kohteeseen ilmatiiveysmittaukset sekä lämpökamerakuvaukset. Suoritin lämpökuvauksen useaan kertaan, jolloin sain rakennuksesta useita kuvia eri työvaiheista. Ensimmäisen kerran kuvasin koko rakennuksen läpi sisäpuolelta sekä ulkopuolelta. Jotain ongelmakohtia sain paikannettua kameran avulla ja tein kuvauksista raportin, jonka lähetin työmaalle. Raportissa näkyi ongelmakohdat, jotka kävin vielä työmaalla selittämässä tarkemmin sen osalta, missä ne olivat ja mistä ne voivat johtua. Koska kyseessä oli elementtirunkoinen rakennus oletuksena oli jo ennen kuvauksia ja mittauksia, että rakennus tulee olemaan tiivis. Rakennuksen liitoskohdista, yläpohjasta tai seinä rakenteista ei löytynyt vikoja. Ainoat raportoitavat viat olivat ulko-ovien kylmät liitokset, sekä kosteat kohdat yläpohjan ontelolaatoissa. Ovien liitokset tarkasteltiin työmaalla uudestaan ja ontelolaatoissa sijaitseva vesi poistettiin poraamalla pieni reikä laatan alapintaan.

Jatkossa kyseiset viat on helppo välttää kiinnittämällä huomiota ovien ja ikkunoiden liitoksiin, sekä huolehtia ontelolaattojen onteloiden tyhjennyksestä.

Toisella kuvauskerralla rakennus oli alipaineistettu puhaltimen avulla 50 Pa alipaineiseksi. Tällä kertaa kuvasin ensimmäisen kuvauskerran ongelmapaikat uudestaan läpi, jolloin huomasin, että osassa ulko-ovista oli vieläkin kylmiä liitoksia. Raportoin työmaalle näistä vioista ja annoin korjauskehotuksen. Korjauksen vuoksi oli ovien pellitykset irrotettava ja tarkistettava uretaanieristeen ja kittauksen tiiveys.

Tiiveysmittauksien osalta tavoitteena oli järjestää onnistunut mittaustapahtuma sekä hyväksyttävät mittaustulokset. Mittaus onnistui mielestäni hyvin ja ongelmitta, hyvän suunnittelun ja valmistelun ansiosta. Mittaustulokset olivat kohteessa hyvät, joten korjaussuunnittelua ei tarvinnut tehdä. Tiiveyden mittaaminen avasi ajatusmaailmani rakentamisen huolellisuuden osalta huomattavasti. Opiskellessani aihetta kiinnitin huomiota asioihin, jotka vaikuttavat asumisviihtyvyyteen. Rakentamisvaiheessa voidaan tehdä monia virheitä huomaamatta, jotka nähdään vasta tiiveysmittauksen aikana tai jopa paljon myöhemmin.

LÄHTEET

Infradex Oy. Flir Ebx-sarja [verkkosivu]. [viitattu 10.2.2013]. Saatavissa: <http://www.infradex.com/ebx.html>

Paloniitty, S. & Kauppinen, T. 2006. *Rakennusten lämpökuvaus*. Jyväskylä: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy.

Paloniitty, S. 2012. *Rakennusten tiiviysmittaus*. Tampere: Suomen Rakennusmedia Oy.

RakMK D3, *Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012*. 2011. Helsinki: Rakennustieto Oy ja Rakennustietosäätiö RTS.

RT 14-10850, *Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus* 2005. Helsinki: Rakennustieto

Skanska Oy 2013. Tietoa Skanskasta [verkkosivu]. [viitattu 1.2.2013]. Saatavissa: <http://www.skanska.fi>

Rakennuksen lämpökuvauksen kenttätöölomake

Yritys

Nimi:

Osoite:

Puh:

Lämpökamera:

Tilaajan yhteystiedot

Nimi:

Osoite:

Puh:

Laskutusosoite

Nimi:

Osoite:

Puh:

Kohteen tiedot

Kohde:

Osoite:

Uudisrakennus

Rakennusvuosi:

Korjausrakentaminen

Peruskorjausvuosi:

	Pvm klo (24h ennen)	Pvm klo (12h ennen)	Pvm klo (alussa)	Pvm klo (lopussa)
Ulkoilman lämpötila				
Sisäilman lämpötila (tutkittavassa rakennuk- sessa keskimäärin)				
Auringonpaiste/Pilvisyys				
Tuulen nopeus ja suunta (m/s)				
Paine-ero (tutkittavassa rakennuksessa keski- määrin) (Pa)				
Sisäilman kosteus (tut- kittavassa rakennukses- sa keskimäärin) (RH%)				

Kohdetiedot

Lämmitysjärjestelmä:

Ilmanvaihto:

Rakenteet:

- Alapohja
- ulkoseinät
- yläpohja
- Ikkunat

Muut huomiot:



Tutkimusraportti

Raportin päivämäärä 4.4.2013

Yritys

Asiakas

Skanska Talonrakennus
Oy/ Hoivakoti
aurinkopuisto

Osoite

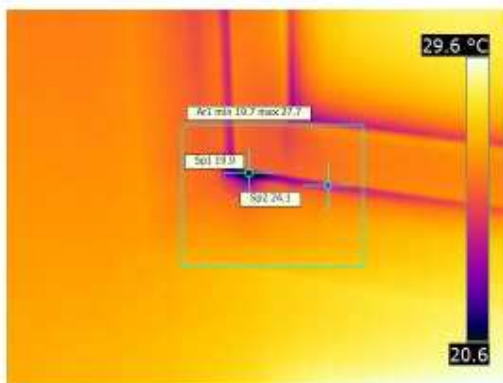
Paikan osoite

Mulkankatu 3

Lämpökuvaaja

Panu Tuunainen

Yhteyshenkilö



Kuva- ja mittausparametrit



Tekstikommentit

Kameramalli FLIR E50bx

Kuvan päivämäärä 19.3.2013 13:27:37

Kuvan nimi IR_0292.jpg

Emissiivisyys 0,95

Heijastuva lämpötila 20,0 °C

Kohteen etäisyys 2,0 m

Kuvaus

Asunhuoneen ikkunan tiiviste hieman vuotaa, mutta ei vaikuta asumisviihtyvyyteen.

AH 52 ikkuna



Skanska Talonrakennus Oy
Viestikatu 3
70200 KUOPIO

TUTKIMUSSELOSTUS N:o R 13030

HOIVAKOTI AURINGONPUISTO, MUTKANKATU 3, KUOPIO, ILMATIIVIYSMITTAUS

Mittauspäivä: 19.03.2013

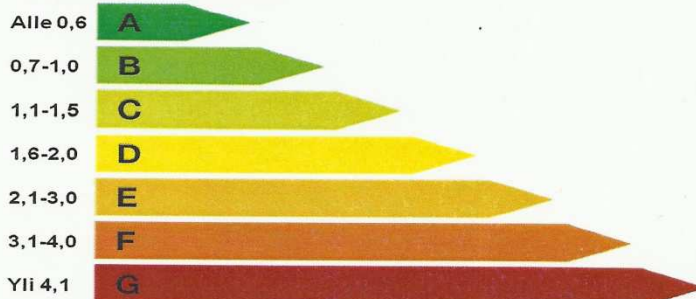
Mittaja: Martti Niskanen, test.ins. Savonia-amk, Rakennusalan tutkimus- ja yrityspalvelut sekä opinnäytetyöntekijä Panu Tuunainen

Mittausvälineet: Ilmatiiviiden mittauslaitteisto Minneapolis Blower Door Model 4.

Menetelmä: Standardin EN 13829 menetelmän B mukaan alipaineella.

Tulokset: Ilmavuotoluku 1.kerros $n_{50} = 0,6 \text{ 1/h}$
 $q_{50} = 0,7 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$
2. kerros $n_{50} = 0,3 \text{ 1/h}$
 $q_{50} = 0,3 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$

TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS



Liitteet: Mittaustulosteet

Kuopio 02.04.2013

Savonia-ammattikorkeakoulu
Rakennusalan tutkimus- ja yrityspalvelut

Martti Niskanen, test.ins.

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 19.03.2013
Test File: Mutkankatu 3, 2. krs.

Technician: M.Niskanen

Customer: Skanska Talonrakennus Oy
Viestikatu 3
70200 KUOPIO,
Phone:
Fax:

Building Address: Hoivakoti Aurinkopuisto 2. kerros
Mutkankatu 3
70820 KUOPIO,

Test Results at 50 Pascals:

V50: Airflow (m³/h) 946 (+/- 1.5 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 0.26
w50: m³/(h*m² Floor Area) 0.70
q50: m³/(h*m² Surface Area) 0.28

Leakage Areas:

372.2 cm² (+/- 7.8 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.11 cm²/m² Surface Area
198.2 cm² (+/- 11.9 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.06 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (Cenv) = 72.0 (+/- 18.2 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 75.0 (+/- 18.2 %)
Exponent (n) = 0.648 (+/- 0.046)
Correlation Coefficient = 0.98062

Test Standard:

EN 13829 Test Mode:

Depressurization

Type of Test Method:

B

Regulation complied with:

Equipment:

Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature: 26 °C

Volume: 3667 m³

Outside Temperature: -8 °C

Surface Area: 3380 m²

Barometric Pressure: 102730 Pa

Floor Area: 1358 m²

Wind Class: 2 Light Breeze

Uncertainty of

Building Wind Exposure: Partly Exposed Building

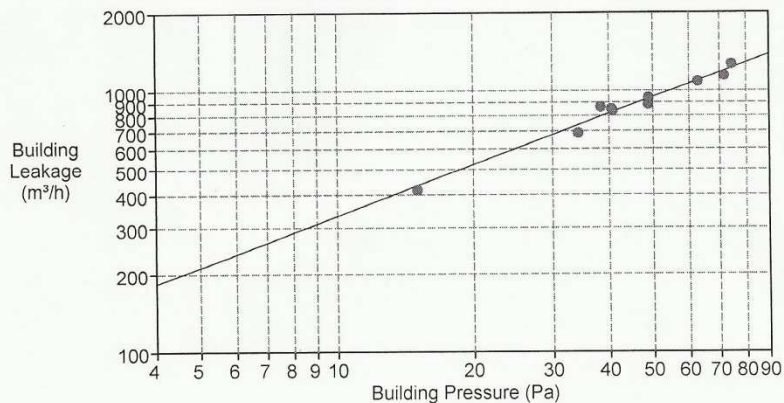
Building Dimensions: 5 %

Type of Heating:

Year of Construction: 2013

Type of Air Conditioning:

Type of Ventilation: Koneellinen tulo-poisto iv lämmöntalteenotolla varustettuna



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 19.03.2013 Test File: Mutkankatu 3, 2. krs.

Comments

Tilavuudet ja pinta-alat laskettu piirustuksista opinnäytetyöntekijän Panu Tuunaisen toimesta. Rakennus hieman keskeneräinen, ilmatiiviyteen liittyvät työ tehty. Iv:n palopellit suljettuna.

Data Points: Depressurization

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-1.4	n/a				
-75.9	290.8	1368	1267	3.6	Ring B
-73.2	235.8	1233	1142	-4.4	Ring B
-64.3	213.8	1174	1088	-0.8	Ring B
-50.3	140.8	954	884	-5.0	Ring B
-50.4	159.2	1014	940	0.7	Ring B
-42.3	125.4	901	834	0.6	Ring B
-35.7	85.3	744	689	-6.8	Ring B
-42.1	130.3	918	850	3.0	Ring B
-39.9	134.4	932	864	8.4	Ring B
-16.6	31.1	450	417	-4.0	Ring B
-1.8	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.4 p01+ = 0.1 p02- = -1.8 p02+ = 0.0					

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 19.03.2013
Test File: Mutkankatu 3, 1.krs.

Technician: M. Niskanen

Customer: Skanska Talonrakennus Oy
Viestikatu 3
70200 KUOPIO,
Phone:
Fax:

Building Address: Hoivakoti Auringonpuisto 1. kerros
Mutkankatu 3
70820 KUOPIO,

Test Results at 50 Pascals:

V50: Airflow (m³/h) 2728 (+/- 1.4 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 0.61
w50: m³/(h*m² Floor Area) 1.76
q50: m³/(h*m² Surface Area) 0.69

Leakage Areas:

1065.6 cm² (+/- 9.0 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.27 cm²/m² Surface Area
565.5 cm² (+/- 14.0 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.14 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (Cenv) = 204.4 (+/- 21.6 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 212.7 (+/- 21.6 %)
Exponent (n) = 0.652 (+/- 0.055)
Correlation Coefficient = 0.97275

Test Standard:

EN 13829 Test Mode:

Depressurization

Type of Test Method:

B

Regulation complied with:

Equipment:

Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature: 27 °C

Volume: 4455 m³

Outside Temperature: -8 °C

Surface Area: 3959 m²

Barometric Pressure: 102730 Pa

Floor Area: 1547 m²

Wind Class: 2 Light Breeze

Uncertainty of

Building Wind Exposure: Partly Exposed Building

Building Dimensions:

5 %

Type of Heating:

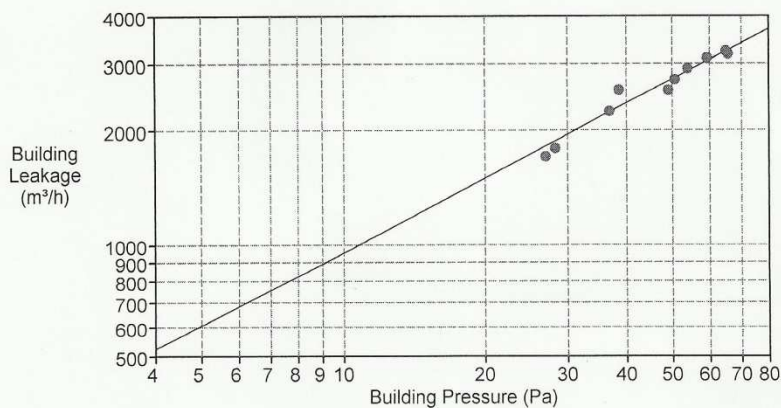
Year of Construction:

2013

Type of Air Conditioning:

Type of Ventilation:

Koneellinen tulo-poisto iv lämmöntalteenotolla varustettuna



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 19.03.2013 Test File: Mutkankatu 3, 1.krs.

Comments

Tilavuudet ja pinta-alat laskettu piirustuksista opinnäytetyöntekijän Panu Tuunaisen toimesta.
Mittauksessa mukana 1. kerroksen lisäksi porrashuone ja iv-konehuone. Rakennus hieman keskeneräinen,
ilmatiiviyteen liittyvät työ tehty. Iv:n palopellit suljettuna.

Data Points: Depressurization

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-7.1	n/a				
-72.7	23.4	3437	3178	-2.3	Open
-72.1	172.6	3502	3237	0.1	Ring A
-66.4	158.2	3353	3100	1.8	Ring A
-61.1	139.2	3148	2910	1.6	Ring A
-57.9	121.5	2943	2721	-1.1	Ring A
-56.2	106.6	2758	2550	-5.3	Ring A
-45.8	106.8	2761	2552	10.8	Ring A
-44.0	82.0	2422	2239	0.2	Ring A
-35.4	52.7	1946	1799	-4.3	Ring A
-34.1	47.7	1852	1712	-6.0	Ring A
-7.3	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -7.1 p01+ = 0.0 p02- = -7.3 p02+ = 0.0